

南京市不同功能区 15 种园林植物叶片铅、铜、氯、硫质量分数的差异性分析

蔺 芳, 张家洋

(新乡学院 生命科学技术系, 河南 新乡 453003)

摘要: 为了探究园林植物叶片富集大气污染物的差异性, 对南京市化学工业园区(污染区)和南京林业大学(清洁区)不同园林植物叶片铅、铜、氯和硫的质量分数进行了测定并进行了元素累积量和隶属函数值分析。结果表明: 污染区植物叶片污染元素与清洁区相比具有显著($P<0.05$)或极显著差异($P<0.01$); 同种园林植物叶片累积 4 种污染元素的质量分数情况不同, 其中枫杨 *Pterocarya stenoptera*, 广玉兰 *Magnolia grandiflora*, 鸡爪槭 *Acer palmatum*, 桑树 *Koelreuteria paniculata*, 悬铃木 *Platanus hispanica* 和小叶黄杨 *Buxus sinica* 的累积情况表现为氯>硫>铜>铅, 女贞 *Ligustrum lucidum*, 珊瑚树 *Viburnum awabuki* 和杨树 *Populus deltoides* 表现为氯>硫>铅>铜, 国槐 *Sophora japonica*, 构树 *Broussonetia papyrifera*, 酒金珊瑚 *Aucuba japonica* var. *variegata* 和紫叶李 *Prunus cerasifera* 表现为硫>氯>铜>铅, 海桐 *Pittosporum tobira* 和樟树 *Cinnamomum camphora* 表现为硫>铅>铜; 利用隶属函数法对 15 种园林植物叶片累积污染元素的能力由高到低进行分类, 可划分为 3 类: 第 1 类为广玉兰、国槐、杨树、构树和枫杨 *Pterocarya stenoptera*; 第 2 类为桑树, 紫叶李, 鸡爪槭 *Acer palmatum*, 悬铃木和海桐; 第 3 类为小叶黄杨、酒金珊瑚、樟树、珊瑚树和女贞。由此可见, 园林植物对大气污染物具有一定的吸收净化能力, 且污染元素含量依功能区、污染元素和树种的不同具有明显的差异。表 3 参 19

关键词: 园林植物; 功能区; 铅; 铜; 氯; 硫

中图分类号: S688 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2015)05-0809-06

A difference analysis for Pb, Cu, Cl, and S with 15 species of landscape plant leaves in different functional areas of Nanjing

LIN Fang, ZHANG Jiayang

(School of Life Science and Technology, Xinxiang University, Xinxiang 453003, Henan, China)

Abstract: To reveal differences in atmospheric pollutants of garden plant leaves, lead (Pb), copper (Cu), chlorine (Cl), and sulfur (S) from Nanjing Chemical Industry Park (contaminated zone) and Nanjing Forestry University (clean zone) were determined and element accumulation and subordinative function value were analyzed. Results indicated that elemental pollutants from plant leaves in the contaminated zone compared with the clean zone had significant ($P<0.05$) or extremely significant difference ($P<0.01$). The content of four kinds pollution elements with the same garden plant leaves was different, the accumulation in *Pterocarya stenoptera*, *Magnolia grandiflora*, *Acer palmatum*, *Koelreuteria paniculata*, *Platanus hispanica* and *Buxus sinica* showed $\text{Cl}>\text{S}>\text{Cu}>\text{Pb}$, *Ligustrum lucidum*, *Viburnum awabuki* and *Populus deltoides* showed $\text{Cl}>\text{S}>\text{Pb}>\text{Cu}$, *Sophora japonica*, *Broussonetia papyrifera*, *Aucuba japonica* var. *variegata* and *Prunus cerasifera* showed $\text{S}>\text{Cl}>\text{Cu}>\text{Pb}$, *Pittosporum tobira* and *Cinnamomum camphora* showed $\text{S}>\text{Cl}>\text{Pb}>\text{Cu}$. Based on the content of four kinds pollution elements from high to low, different garden plants were sorted into three groups

收稿日期: 2014-06-06; 修回日期: 2015-02-15

基金项目: 2014 年河南省基础与前沿技术研究资助项目(142300410100)

作者简介: 蔺芳, 讲师, 从事植物生理生态学研究。E-mail: fanglin2035@126.com。通信作者: 张家洋, 讲师, 从事环境生态学研究。E-mail: skxsyszr@163.com

by using subordinative function value method: 1) *M. grandiflora*, *S. japonica*, *Populus deltoides*, *Broussonetia papyrifera*, and *Pterocarya stenoptera*; 2) *K. paniculata*, *Prunus cerasifera*, *Acer palmatum*, *Platanus hispanica*, and *Pittosporum tobira*; and 3) *Buxus sinica*, *Aucuba japonica* var. *variegata*, *Cinnamomum camphora*, *Viburnum awabuki*, and *Ligustrum lucidum*. Thus, garden plants for air pollutants had certain absorption and purification ability, and pollution elements content in garden plants leaves show obviously difference depending on function areas, element kinds and tree species. [Ch, 3 tab. 19 ref.]

Key words: garden plant; functional area; lead; copper; chlorine; sulfur

随着中国城市化进程的迅速发展,工业生产和人类活动排放的含铅、铜、氯、硫的废弃物,严重影响自然环境,破坏生态平衡,已成为当前城市环境污染的主要来源之一^[1-3]。植物叶片是植物进化过程中对环境变化较敏感的器官,其生理特征最能体现环境因子的影响或植物对环境的适应^[4-6]。因此,园林植物叶片的污染物含量可以作为城市环境污染程度的指示剂。近年来,国内外一些学者对特定区域内的城市绿化植物的大气环境效益进行评估,主要开展了园林植物吸收积累大气硫、铅等污染物的研究,并且筛选出了一批具有代表性的抗污染物、吸收同化污染物能力较强的植物^[7-8]。目前,针对南京市绿化植物叶片吸收富集大气污染物铅、铜、氯和硫的研究尚未见报道。鉴于此,本研究通过调查南京市城市污染状况,选择了15种常见的园林植物包括广玉兰 *Magnolia grandiflora*, 国槐 *Sophora japonica*, 杨树 *Populus deltoides*, 构树 *Broussonetia papyrifera*, 枫杨 *Pterocarya stenoptera*, 栾树 *Koelreuteria paniculata*, 紫叶李 *Prunus cerasifera*, 鸡爪槭 *Acer palmatum*, 悬铃木 *Platanus hispanica*, 海桐 *Pittosporum tobira*, 小叶黄杨 *Buxus sinica*, 酒金珊瑚 *Aucuba japonica* var. *variegata*, 檀树 *Cinnamomum camphora*, 珊瑚树 *Viburnum awabuki* 和女贞 *Ligustrum lucidum*, 并对污染区与清洁区受试树种叶片污染元素质量分数的测定,目的在于比较不同树种吸收及累积污染元素的能力,科学地筛选出累积能力强的树种,为进一步筛选耐受和富集大气污染物的园林植物提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点设计

根据南京市大气污染程度的差异,选择2个不同的功能区,即污染区(南京化学工业园区,位于南京市六合区,长江北岸,距南京市中心30 km,其中心地理坐标为32°12'31"N, 118°45'24"E,分布较多的化工厂,每年排放大量的铅、铜、氯、硫及其化合物等污染物,是主要的污染源所在地,污染程度较高)。清洁区(南京林业大学,远离市区,无污染源,空气清洁程度较高)。采集时间为2014年9月。各功能区大气污染物的变化情况如表1所示。

表1 各功能区大气污染物变化情况

Table 1 Variation of atmospheric pollutants in each functional area

功能区	铅/(mg·m ⁻³)	铜/(mg·m ⁻³)	氯/(mg·m ⁻³)	硫/(mg·m ⁻³)
污染区	0.365~0.572	0.178~0.218	0.062~0.111	0.075~0.137
清洁区	0.131~0.239	0.060~0.119	0.012~0.056	0.008~0.054

1.2 样品采集与制备

于2014年9月,在不同功能区选择生长健康的优良树种进行叶片采集。采样时同一树种树高、胸径、生长情况等要基本保持一致,采取样树3~4株·树种⁻¹·样点⁻¹,采样位置选择树冠外围东西南北4个方向,距离地面高度控制在2.5 m左右,采集同龄枝的叶片,选取第3~5片老叶作为测量的样品,大叶树种采集10~12片·枝⁻¹,小叶树种采集20~25片·枝⁻¹。将采集的叶片封存于自封塑料袋中并带回实验室进行样品处理。具体步骤如下:先用自来水冲洗叶片,然后戴上手套洗净叶片上的滞尘等杂质,放烘箱中105 °C下杀青1 h,72 °C下烘干至恒量,用粉碎机粉碎烘干的样品,过60目筛,得到的粉末即为分析样品,放入干燥器内备用。

1.3 样品测定与数据处理

采用艾氏卡试剂消化样品、硫酸钡比浊法测定叶片硫质量分数^[9-10], 氯质量分数的测定采用氧化钙干灰化-硝酸银滴定法^[11-12], 铜、铅质量分数的测定采用微波消解(硝酸-浓盐酸-氢氟酸的多元混酸)-火焰原子吸收分光光度法^[13-14]。文中数据的处理采用 Microsoft Excel, SPSS 17.0 和 Word 2003 软件进行统计与分析, 表中数据以平均数来体现。

1.4 元素累积量分析

将每种植物在污染区测定的铅、铜、氯、硫等4种元素的质量分数与清洁区质量分数相减后得到的差值即为元素累积量, 以此可对不同植物累积污染元素的能力进行评价。

1.5 隶属函数值分析

隶属函数法是目前应用比较广泛的数学评定方法。该方法采用模糊数学中隶属函数的方法对园林植物叶片各项污染物质量分数的隶属函数值进行累加, 求取平均数以评定园林植物叶片富含污染物量的大小。具体计算方法如下: 求出各指标的隶属函数值, 可用公式: $T=(T-T_{\min})/(T_{\max}-T_{\min})$, 其中: T 为某项指标测定值; T_{\min} 为某项指标测定值中的最小值; T_{\max} 为某项指标测定值中的最大值^[12]。将各项指标的隶属函数值累加起来, 其累加值的大小反映叶片污染物质量分数的多少。

2 结果与分析

2.1 园林植物叶片铅、铜、氯和硫质量分数的功能区变化

表2呈现了15种园林植物叶片铅、铜、氯和硫质量分数在空间上(2个功能区)的变化。由于秋季(9月)叶片中污染元素的质量分数达到了极大值且较为稳定, 所以污染区和清洁区的采样时间都在秋季进行。所有园林植物叶片污染物质量分数具有相似的变化规律, 即南京化学工业园区污染物质量分数均高于南京林业大学。其中, 铅元素在2个功能区之间差异极显著的树种有枫杨、国槐、广玉兰、栾树、珊瑚树、洒金珊瑚、悬铃木、小叶黄杨和杨树, 其余各树种均表现为差异显著; 樟树叶中铜元素在2个功能区之间差异显著, 而海桐和女贞不显著差异, 其余均极显著; 氯元素除了广玉兰在2个功能区之间差异不显著, 其余树种差异均极显著; 硫元素在2个功能区之间只有国槐和构树差异极显著, 而女贞和小叶黄杨无显著性差异, 其余树种均差异显著。绿化树木所在的功能区大气污染物浓度与树种叶片污染元素质量分数成正相关, 在污染区, 由于化工、电力、水泥等企业排放到大气中的大量污染物被城市园林植物吸收, 最终这些污染物在树木叶片内随着生理生化活动的进行而迅速扩散然后富集起来。南京林

表2 各功能区15种园林植物叶片铅、铜、氯和硫质量分数比较

Table 2 The comparison of lead, copper, chlorine and sulfur content of 15 species of landscape plant leaves in each functional area

树种	铅/(mg·kg ⁻¹)		铜/(mg·kg ⁻¹)		氯/(g·kg ⁻¹)		硫/(g·kg ⁻¹)	
	清洁区	污染区	清洁区	污染区	清洁区	污染区	清洁区	污染区
枫杨	4.490 ± 0.060	2.630 ± 0.089**	10.250 ± 0.024	6.380 ± 0.047**	12.91 ± 0.05	9.53 ± 0.08**	4.74 ± 0.45	2.90 ± 0.22*
国槐	5.380 ± 0.065	3.100 ± 0.147**	9.630 ± 0.053	5.710 ± 0.049**	6.54 ± 0.11	5.23 ± 0.03**	6.90 ± 0.47	4.10 ± 0.27**
构树	4.920 ± 0.038	3.450 ± 0.506*	10.360 ± 0.065	7.140 ± 0.389**	9.73 ± 0.11	7.42 ± 0.04**	7.70 ± 0.74	4.00 ± 0.29**
广玉兰	4.060 ± 0.150	1.260 ± 0.159**	8.150 ± 0.067	5.280 ± 0.029**	27.80 ± 2.45	20.62 ± 0.16	5.51 ± 0.40	3.70 ± 0.02*
海桐	3.140 ± 0.105	1.940 ± 0.541*	4.880 ± 0.037	4.030 ± 0.619	4.12 ± 0.04	3.09 ± 0.04**	6.43 ± 0.54	3.80 ± 0.36*
鸡爪槭	2.650 ± 0.086	2.060 ± 0.168*	5.380 ± 0.030	2.650 ± 0.048**	13.64 ± 0.08	10.63 ± 0.07**	8.60 ± 0.43	6.10 ± 0.62*
栾树	5.770 ± 0.083	3.810 ± 0.111**	7.780 ± 0.041	4.460 ± 0.078**	5.93 ± 0.06	4.01 ± 0.06**	4.70 ± 0.33	2.80 ± 0.41*
女贞	4.150 ± 0.070	3.040 ± 0.426*	5.260 ± 0.050	4.770 ± 0.380	3.83 ± 0.04	2.53 ± 0.09**	3.40 ± 0.41	2.50 ± 0.36
珊瑚树	1.550 ± 0.088	0.740 ± 0.005**	6.230 ± 0.044	5.750 ± 0.049**	4.72 ± 0.06	3.21 ± 0.04**	3.60 ± 0.35	2.33 ± 0.40*
洒金珊瑚	3.250 ± 0.102	2.590 ± 0.069**	6.740 ± 0.053	4.620 ± 0.086**	6.23 ± 0.07	4.91 ± 0.04**	4.10 ± 0.48	2.40 ± 0.55*
悬铃木	3.530 ± 0.081	2.160 ± 0.149**	7.170 ± 0.026	5.210 ± 0.048**	8.43 ± 0.08	5.73 ± 0.09**	6.50 ± 0.46	4.40 ± 0.53*
小叶黄杨	2.780 ± 0.077	1.890 ± 0.0053**	5.220 ± 0.038	2.890 ± 0.073**	7.52 ± 0.16	4.53 ± 0.12**	4.30 ± 0.46	3.14 ± 0.53
樟树	3.010 ± 0.076	2.540 ± 0.164*	4.390 ± 0.057	3.980 ± 0.241*	2.64 ± 0.09	1.84 ± 0.04**	5.20 ± 0.39	2.80 ± 0.29*
杨树	4.060 ± 0.097	1.960 ± 0.039**	11.310 ± 0.049	10.410 ± 0.083**	25.20 ± 0.87	12.03 ± 4.44**	10.30 ± 0.42	7.60 ± 0.78*
紫叶李	5.970 ± 0.123	4.660 ± 0.546*	10.050 ± 0.091	7.550 ± 0.471**	12.23 ± 0.07	9.44 ± 0.16**	6.30 ± 0.65	3.40 ± 0.44*

说明: **表示污染区与清洁区差异极显著($P<0.01$), *表示差异显著($P<0.05$)。

业大学地理位置偏僻，周边不存在工业企业，环境绿化较好，其大气污染物浓度较市区及工业区低。因此，园林植物叶片中污染物的质量分数也相对较低。

2.2 园林植物叶片铅、铜、氯和硫质量分数的综合分析

综合分析南京市15种园林植物叶片污染物铅、铜、氯和硫的累积量(表3)。结果表明：同种园林植物叶片累积4种污染元素的质量分数情况不同，其中枫杨、广玉兰、鸡爪槭、栾树、悬铃木和小叶黄杨的累积情况表现为氯>硫>铜>铅，女贞、珊瑚树和杨树表现为氯>硫>铅>铜，国槐、构树、洒金珊瑚和紫叶李表现为硫>氯>铜>铅，海桐和樟树表现为硫>氯>铅>铜。此外，根据隶属函数法累加值 x 的大小划分为以下3个范围(表3): $x \geq 2$, $1 < x < 2$, $x \leq 1$ 。据此，可将园林植物分成3类：第1类以广玉兰、国槐、杨树、构树和枫杨为代表，叶片污染物铅、铜、氯和硫的质量分数较高；第2类包括栾树、紫叶李、鸡爪槭、悬铃木和海桐，叶片污染元素质量分数居中；小叶黄杨、洒金珊瑚、樟树、珊瑚树和女贞叶片污染元素质量分数相对较低，归为第3类。

表3 15种园林植物叶片铅、铜、氯和硫的综合分析

Table 3 Comprehensive analysis of lead, copper, chlorine and sulfur of 15 species of landscape plant leaves

树种	元素累积量				隶属函数值				
	铅/(mg·kg ⁻¹)	铜/(mg·kg ⁻¹)	氯/(g·kg ⁻¹)	硫/(g·kg ⁻¹)	铅	铜	氯	硫	求和
枫杨	1.860	3.870	3.38	1.84	0.597	0.986	0.209	0.336	2.127
国槐	2.280	3.920	1.31	2.80	0.777	1.000	0.041	0.679	2.497
构树	1.470	3.220	2.31	3.70	0.429	0.801	0.122	1.000	2.352
广玉兰	2.800	2.870	7.18	1.81	1.000	0.701	0.516	0.325	2.542
海桐	1.200	0.850	1.03	2.63	0.313	0.125	0.019	0.618	1.075
鸡爪槭	0.590	2.730	3.01	2.50	0.052	0.661	0.179	0.571	1.463
栾树	1.960	3.320	1.92	1.90	0.639	0.829	0.091	0.357	1.916
女贞	1.110	0.490	1.30	0.90	0.275	0.023	0.040	0.000	0.338
珊瑚树	0.810	0.480	1.51	1.27	0.146	0.020	0.057	0.132	0.355
洒金珊瑚	0.660	2.120	1.32	1.70	0.082	0.487	0.042	0.286	0.896
悬铃木	1.370	1.960	2.70	2.10	0.386	0.442	0.154	0.429	1.410
小叶黄杨	0.890	2.330	2.99	1.16	0.180	0.547	0.177	0.093	0.997
樟树	0.470	0.410	0.80	2.40	0.000	0.000	0.000	0.536	0.536
杨树	2.100	0.900	13.17	2.70	0.700	0.140	1.000	0.643	2.482
紫叶李	1.310	2.500	2.79	2.90	0.361	0.595	0.161	0.714	1.831

3 结论与讨论

同种园林植物叶片累积4种污染元素的质量分数情况不同，总体来说对氯和硫的累积能力大于铜和铅。此外，不同种园林植物叶片4种污染元素质量分数也有很大差异，铅质量分数高的园林植物有国槐、广玉兰和杨树，铜质量分数高的园林植物有枫杨、国槐、构树、广玉兰、鸡爪槭、栾树、洒金珊瑚、小叶黄杨和紫叶李。氯、硫质量分数相对较高的园林植物有杨树和构树。存在这种差异性的原因可能与植物叶片本身结构、元素性质、树木叶片距地高度、土壤及地理气候条件等多种因素综合作用的结果有关^[17-18]。

运用隶属函数法将15种园林植物叶片累积污染元素的能力由高到低进行分类，结果表明：广玉兰、国槐、杨树、构树和枫杨为第1类；栾树、紫叶李、鸡爪槭、悬铃木和海桐为第2类；小叶黄杨、洒金珊瑚、樟树、珊瑚树和女贞为第3类。因此，为达到减少大气污染、美化环境的目的，应优先选择广玉兰、国槐、杨树、构树和枫杨这些吸污抗污能力强的园林植物，以取得最大的环境生态效益。

植物在生长过程中受到的外界影响是综合性的，不仅有自然因素还有人为因素，往往是多种因素同时影响着植物对污染元素的富积^[19]。本研究仅对功能区这一因素进行了分析，下一步我们将展开园林植物叶片污染物质量分数与其他因子如叶面结构、比叶重等内因和季节、风向、风力、土壤等外因深入进行研究。

4 参考文献

- [1] LACHAPELLE P P, SHIPLEY B. Interspecific prediction of photosynthetic light response curves using specific leaf mass and leaf nitrogen content: effects of differences in soil fertility and growth irradiance [J]. *Ann Bot*, 2012, **109**(6): 1149 – 1157.
- [2] PAROLIN P. Seasonal changes of specific leaf mass and leaf size in trees of Amazonian floodplains [J]. *Phyton-Anales Rei Bot*, 2002, **42**(1): 169 – 185.
- [3] PYANKOV V I, KONDRAATCHUK A V, SHIPLEY B. Leaf structure and specific leaf mass: the alpine desert plants of the Eastern Pamirs, Tadzhikistan [J]. *New Phytol*, 1999, **143**(1): 131 – 142.
- [4] ZENG Jianrong, ZHANG Guolin, BAO Liangman, et al. Sulfur speciation and bioaccumulation in camphor tree leaves as atmospheric sulfur indicator analyzed by synchrotron radiation XRF and XANES [J]. *J Environ Sci*, 2013, **25**(3): 605 – 612.
- [5] ANAND M, MA K M, OKONSKI A, et al. Characterising biocomplexity and soil microbial dynamics along a smelter-damaged landscape gradient [J]. *Sci Total Environ*, 2003, **311**(1): 247 – 259.
- [6] 王陆军, 廖晓芬. 宝鸡市大气环境质量分析与综合评价[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2005, **30**(1): 154 – 157.
WANG Lujun, LIAO Xiaofen. Analysis and comprehensive evaluation of Baoji's air quality [J]. *J Southwest China Norm Univ Nat Sci*, 2005, **30**(1): 154 – 157.
- [7] 杜振宇, 邢尚军, 宋玉民, 等. 山东省高速公路主要绿化树木叶片硫、铅含量分析[J]. 生态环境, 2007, **16**(6): 1608 – 1611.
DU Zhenyu, XING Shangjun, SONG Yumin, et al. Analysis of S and Pb concentrations in leaves of main green trees alongside expressways in Shandong Province [J]. *Ecol Environ*, 2007, **16**(6): 1608 – 1611.
- [8] 杜振宇, 邢尚军, 宋玉民, 等. 山东省高速公路两侧土壤的铅污染及绿化带的防护作用[J]. 水土保持学报, 2007, **21**(5): 175 – 179.
DU Zhenyu, XING Shangjun, SONG Yumin, et al. Lead pollution along expressways and its attenuation by green belts in Shandong Province [J]. *J Soil Water Conserv*, 2007, **21**(5): 175 – 179.
- [9] 黄银晓, 林舜华, 韩荣庄, 等. 北京主要绿化植物和土壤对大气中硫的积累特点及其指示净化作用[J]. 植物学报, 1990, **32**(5): 380 – 389.
HUANG Yinxiao, LIN Shunhua, HAN Rongzhuang, et al. The characteries of accumulation of sulphur from the air by the main plants and soils in Beijing and their indicative and purgative abilities [J]. *Acta Bot Sin*, 1990, **32**(5): 380 – 389.
- [10] 庞秀言, 吕溥, 封永强, 等. 艾氏卡试剂消化硫酸钡比浊法测定膨胀石墨中的硫含量[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2008, **28**(1): 52 – 56, 112.
PANG Xiuyan, LÜ Pu, FENG Yongqiang, et al. Detection of sulfur in expanded graphite combined digestion under eschka reagents with turbidimetry of barium sulfate [J]. *J Hebei Univ Nat Sci Ed*, 2008, **28**(1): 52 – 56, 112.
- [11] 栗德永, 王开曦. 大气污染对植物叶片硫、氯、氟含量的影响[J]. 环境科学, 1982, **3**(5): 50 – 55.
LI Dengyong, WANG Kaixi. Atmospheric pollution on the influence of sulfur, chlorine, fluorine content in plant leaves [J]. *Environ Sci*, 1982, **3**(5): 50 – 55.
- [12] 张家洋, 陈丽丽, 任敏. 10种绿化树种叶片硫、氯及氟含量的比较[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2014, **39**(8): 62 – 66.
ZHANG Jiayang, CHEN Lili, REN Min. On comparison of content of sulfur, chlorine and fluorine in foliage in 10 kinds of afforesattion trees [J]. *J Southwest China Norm Univ Nat Sci Ed*, 2014, **39**(8): 62 – 66.
- [13] 王爱霞, 张敏, 黄利斌, 等. 南京市14种绿化树种对空气中重金属的累积能力[J]. 植物研究, 2009, **29**(3): 368 – 374.
WANG Aixia, ZHANG Min, HUANG Libin, et al. Accumulation capacity of Nanjing 14 virescence tree species to heavy metal pollutants of the atmosphere [J]. *Bull Bot Res*, 2009, **29**(3): 368 – 374.
- [14] 张春兴, 张有标, 黄会一. 利用树木叶片铅含量指示大气铅污染状况的研究[J]. 生态学杂志, 1984(4): 5 – 10.

- ZHANG Chunxing, ZHANG Youbiao, HUANG Huiyi. Lead content in leaves of woody plants as an index of air lead-pollution status [J]. *Chin J Ecol*, 1984(4): 5 – 10.
- [15] 梅卓华, 方东, 宋永忠, 等. 南京市区植物叶片氮、硫、铅含量与大气污染评价[J]. 污染防治技术, 2005, 18(4): 40 – 41.
- MEI Zhuohua, FANG Dong, SONG Yongzhong, et al. Contents of nitrogen, sulfur, lead in leaves of plants and air pollution evaluation in Nanjing District [J]. *Pollut Control Technol*, 2005, 18(4): 40 – 41.
- [16] 李少宁, 孔令伟, 鲁绍伟, 等. 北京常见绿化树种叶片富集重金属能力研究[J]. 环境科学, 2014, 35(5): 1891 – 1900.
- LI Shaoning, KONG Lingwei, LU Shaowei, et al. Beijing common green tree leaves' accumulation capacity for heavy metals [J]. *Environ Sci*, 2014, 35(5): 1891 – 1900.
- [17] 宋彬, 王得祥, 张义, 等. 延安15种园林树种叶片硫含量特征分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(5): 91 – 96.
- SONG Bin, WANG Dexiang, ZHANG Yi, et al. Sulfur contents in foliage of 15 ornamental trees in Yan'an [J]. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 2014, 42(5): 91 – 96.
- [18] 范修远, 陈玉成. 重庆主城区主要行道植物硫氮水平的初步研究[J]. 中国城市林业, 2006, 4(4): 38 – 40.
- FAN Xiuyuan, CHEN Yucheng. A preliminary study on the main line of the Chongqing urban district of sulfur and nitrogen content of the plants [J]. *China City For*, 2006, 4(4): 38 – 40.
- [19] 洪渊, 张冬鹏, 黄俊华. 硫污染对9种园林植物叶片硫含量与叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态科学, 2006, 25(6): 558 – 560.
- HONG Yuan, ZHANG Dongpeng, HUANG Junhua. Effect of SO₂ on leave's sulfer content and chlorophyll fluorescence of gardens plants in Shenzhen [J]. *Ecol Sci*, 2006, 25(6): 558 – 560.